

白石平野におけるコンクリート製 水利構造物の劣化特性に関する 調査研究

甲本 達也 | 佐賀大学農学部生物生産学科 教授
佐口 政人 | (株)馬渡商会 工場長
豊増 紀彦 | 佐賀県武雄農林事務所 主査

1. はじめに

セメントの水和反応により生成される水酸化カルシウムは $\text{pH}=12\sim13$ の強アルカリ性を示す¹⁾。したがって、コンクリート構造物は製造直後は強アルカリ性を示すことになる。しかし、施工されたコンクリートは、経年的な劣化だけでなく、現場において弱酸性の気体や酸性の雨または液体などと接触することによる中性化や、骨材中のある種の鉱物とコンクリート中の成分との化学反応であるアルカリ骨材反応によるコンクリートの容積膨張・ひびわれといった劣化の途をたどる宿命にある。

コンクリート構造物の中でも、農業用水路などの農業用構造物は、その機能上からみて他の構造物より劣化を受けやすい劣悪な環境下にあるといえる。コンクリート構造物がこの様な環境下に長期間晒されてコンクリートの劣化が進むと、やがてはその機能が阻害されるようになり、その阻害の度合いによっては、構造物は改修されることになる。

コンクリートの劣化対策を講じるために

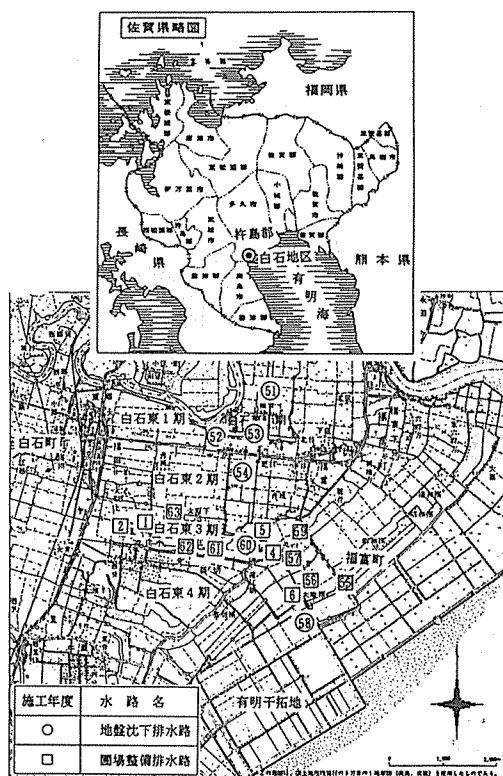
は、コンクリートの劣化のメカニズムを明らかにするとともにコンクリートの劣化状況を把握しておく必要がある。

本研究は、コンクリート構造物の劣化対策の基礎資料を得るために、特に佐賀県白石平野における農業用水路を対象として、コンクリートの劣化の実体を現地調査により明らかにしたものである。

2. 調査地区概況

調査は、図-1に示す佐賀県杵島郡白石町の県営圃場整備事業白石東地区で行った。本地区は、佐賀県西部の白石平野中心部で、潮汐干満差5.5mにも達する有明海の最奥部の沖積平野で、地区の北部を東西に六角川が流れ、地区全体が低平地で大部分が最高潮位3.8m以下である。標高は3.3m~0.5mで、傾斜は $1/4,000\sim 1/7,000$ 、平均 $1/6,000$ 内外である。

本地区一帯の地質は、一般に有明粘土層と呼ばれる軟弱な粘土またはシルト質粘土層からなる厚さ10m~20mの沖積層である。本地区は、県内でも有数の地盤沈下地帯であり、過去に地下水を農業用に過剰に汲み



図－１ 農業用水路コンクリートの劣化特性調査位置図

上げたために、20年間にわたり約2m沈下した経歴を有している。現在も地盤沈下は依然として進行中の所である。

本地区では、昭和51年度から県営の地盤沈下対策事業として幹線のコンクリート製地盤沈下排水路が施工され、併行して圃場整備事業による支線のコンクリート製用・排水路が施工されてきた。これらの水路は、毎年計画的に延長施工されており、本地区には昭和51年～平成6年まで18年間分（平成3年は施工されず）の水路が揃っている。今回、調査を実施した位置を施工年度（丸や四角で囲んだ数字）とともに図－1に示した。

3. 調査及び結果

調査対象は、昭和51年（1976年）～平成6年（1994年）までの18年間にわたり施工

された水路工の各年度当たり一カ所の計18の水路工である。各調査項目及び調査結果は以下のごとくである。

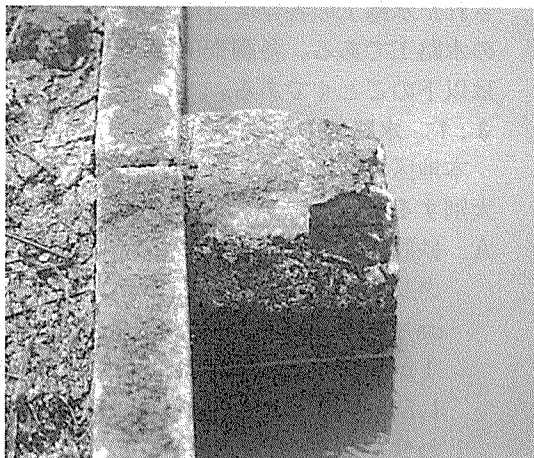
3.1 水路工の形態

本地区で施工されている水路工の形態を大別すると以下の4タイプに分けられる。

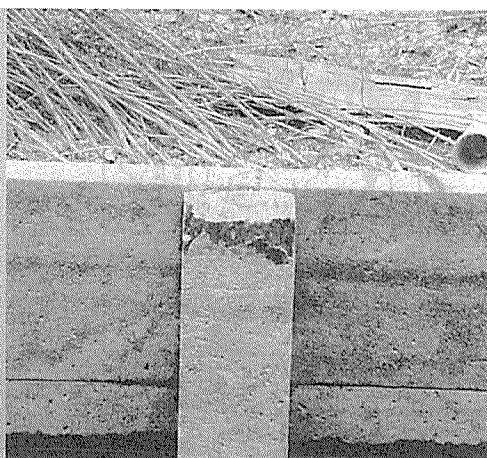
- A. 鉄筋コンクリート杭・板工（鉄筋コンクリート土留杭：長さ、5m、断面、15cm×15cmと鉄筋コンクリート板：長さ1m×幅0.3m×厚さ0.06m又は長さ1.5m×幅0.3m×厚さ0.07mを組み合わせたもの）
- B. 鉄筋コンクリート組立柵工Ⅰ型（U型アーム：アーム内幅1m×高さ0.6m×厚さ0.06mと鉄筋コンクリート板：長さ1m×幅0.6m×厚さ0.1mを組み合わせたもの）
- C. 鉄筋コンクリート組立柵工Ⅱ型（U型アーム：アーム内幅1m×高さ0.6m×厚さ0.1m、アームの断面はT型と鉄筋コンクリート板：長さ1.4m×0.3m～0.5m×厚さ0.1mを組み合わせたもの）

表－1 水路工の施工年度及び形態

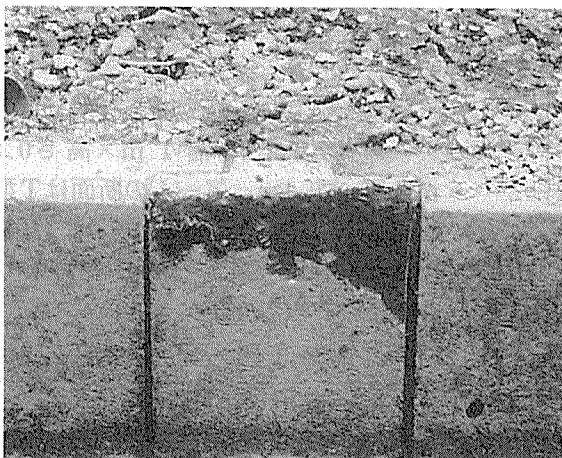
水路工番号	施工年度	水路工の形態
1	昭和51(1976)	鉄筋コンクリート杭・板工
2	52(77)	〃
3	53(78)	〃
4	54(79)	〃
5	55(80)	鉄筋コンクリート組立柵工Ⅰ型
6	56(81)	〃
7	57(82)	〃
8	58(83)	鉄筋コンクリート杭・板工
9	59(84)	鉄筋コンクリート組立柵工Ⅰ型
10	60(85)	〃
11	61(86)	鉄筋コンクリート組立柵工Ⅱ型
12	62(87)	〃
13	63(88)	〃
14	平成1(89)	〃
15	2(90)	〃
16	4(92)	鉄筋コンクリートU字工
17	5(93)	〃
18	6(94)	〃



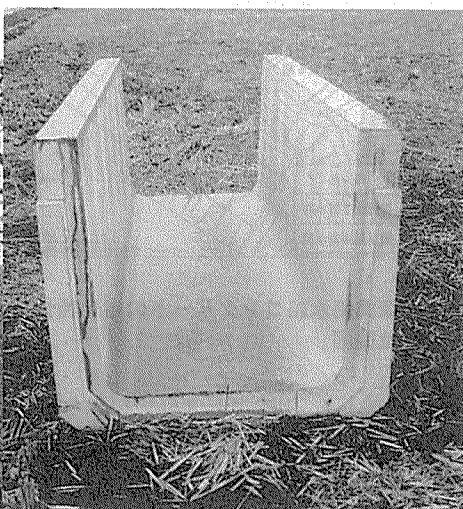
A. 鉄筋コンクリート杭・板工



B. 鉄筋コンクリート組立柵工Ⅰ型



C. 鉄筋コンクリート組立柵工Ⅱ型



D. 鉄筋コンクリートU字工

写真-1 水路工概況（コンクリート表面を剝離した後フェノールフタレイン1%溶液を振りかけたもので、ピンク色に発色している部分はpH9~10あることを意味している）

D. 鉄筋コンクリートU型工（U字溝：長さ2m×幅0.6m×高さ0.6m×厚さ0.07m）

調査対象の水路工を施工年度及び形態についてまとめると表-1のようである。また、水路の状況は写真-1に示すようである。

3.2 水路を取り巻く環境

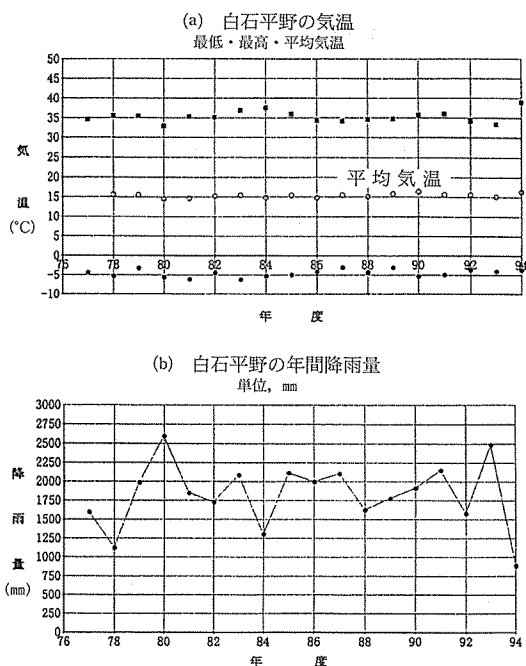
①気象条件：佐賀地方気象台のデータによれば、白石平野の過去18年間における気

温及び年間降雨量は図-2に示すようである。

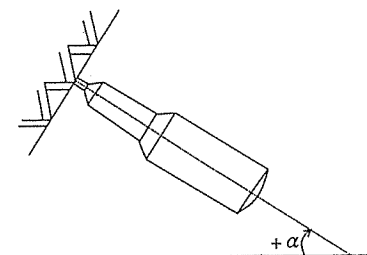
②水路流下水の水質：調査時における各水路の流下水のpH値、塩分濃度及び水温は表-2のようであった。

3.3 シュミット・ハンマー法による反発硬度測定

シュミット・ハンマー法は、図-3に示すコンクリート・スクレロメーターを用い



図一 白石平野における年間気温及び降水量
(佐賀地方気象台のデータによる)



図一 3 コンクリート・スクレロメータの
測定状況

て、先端部のコンクリート表面における反発硬度Rによりコンクリート表層の硬さを測定するものである。水路コンクリートを直接破壊して強度を求めることが出来ないこと、コンクリートの劣化は表層部から深部へと進むであろうことを考慮すると、本方法は現位置におけるコンクリートの非破壊強度測定方法として有用と思われる。しかし、反発硬度Rからコンクリートの圧縮強度を換算するにはコンクリートの強度を支配している配合、施工、養生、使用材料などについて精度のよいキャリブレイショ

表一 2 水路流下水のpH値と塩分濃度

水路工 番号	測 定 日	pH	塩分濃度 (C L %)	水温 (°C)
1	平成 7 . 11 . 8	7.62	0.0066	10.2
2	5 . 18	9.12	0.0044	30.5
3	5 . 18	8.66	0.0044	26.7
4	5 . 18	9.22	0.0040	28.6
5	6 . 16	7.84	0.0326	28.6
6	6 . 16	7.08	0.0204	29.0
7	6 . 16	6.90	0.0102	28.9
8	5 . 18	8.52	0.0094	26.3
9	6 . 16	7.04	0.0082	25.7
10	11 . 8	7.71	0.0104	11.7
11	11 . 8	7.50	0.0080	10.4
12	11 . 8	7.44	0.0080	10.4
13	11 . 8	8.05	0.0084	11.8
14	11 . 8	7.37	0.0036	13.2
15	11 . 8	7.32	0.0044	13.1
16	6 . 16	7.22	0.0090	24.1
17	11 . 8	7.35	0.0072	11.7
18	6 . 16	7.26	0.0190	29.1

ンカーブを求めておく必要がある²⁾。ここではR値をコンクリートの定性的な相対強度とみなし、コンクリートの相対的な強度劣化の指標として用いた。

シュミット・ハンマー試験は、各水路工の、水路壁及び杭の上部(図一 3 の $\alpha = -90^\circ$ に相当) 及び杭の頂部より下方 5 ~ 10 cm の側面(図一 3 の $\alpha = 0^\circ$ に相当) において行った。測点は、各水路工当たり 5 地点とし、測定回数は各地点とも 5 回づつとした。

各水路工について得られたシュミットハンマー測定値 25 個の最小値、最大値及び平均値を表一 3 に示す。

3. 4 コンクリート碎片のpH値

コンクリートの劣化は表面から内部へ進行していくので、コンクリート表層部より採取した小ブロックについてpHの変化を調べた。pHは採取したブロックを碎片(820 μ mふるい通過分)にし、碎片 10 g に対して水道水 25 ml を加えて攪拌し、1 時間静置の後測定した。ただし、水道水のpH及び水温はそれぞれ 7.5 及び 18°C であった。これらの測定結果を表一 4 に示す。

表-3 シュミットハンマー測定結果

水路工 番号	反 発 硬 度 R								
	水路壁上部, $\alpha=90^\circ$			杭上部, $\alpha=-90^\circ$			杭上部, $\alpha=0^\circ$		
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値
1	25.3	32.7	29.0	26.7	32.7	29.4	29.0	32.3	30.3
2	26.7	32.3	28.8	22.7	26.0	24.5	16.7	23.3	20.3
3	30.3	34.3	32.9	28.3	32.7	30.2	24.0	29.7	26.6
4	25.3	31.0	28.7	28.0	31.0	30.0	26.0	28.7	27.1
5	31.7	35.3	33.1	36.7	40.0	38.7	28.7	35.7	32.3
6	39.7	42.0	40.6	40.7	44.7	41.9	30.0	34.3	32.6
7	27.0	31.0	29.0	37.0	39.7	37.7	25.7	27.7	26.4
8	27.7	38.3	33.4	36.0	39.7	38.1	30.7	36.7	33.9
9	28.3	41.0	34.5	34.7	38.7	36.9	26.3	30.0	28.5
10	34.3	40.0	36.8	31.0	37.3	33.1	27.7	34.0	29.9
11	24.3	30.0	27.9	40.0	44.7	42.9	27.0	34.0	29.9
12	32.0	38.7	34.4	37.3	43.0	40.3	25.3	36.7	29.9
13	27.0	32.7	30.7	40.3	43.3	41.5	23.3	34.7	30.4
14	34.0	36.7	35.3	42.3	49.3	45.5	27.3	33.0	30.8
15	37.7	43.3	39.4	36.7	44.0	41.0	22.7	27.3	24.7
16	42.7	46.7	44.8	42.7	46.7	44.8	33.3	37.0	36.5
17	43.3	48.3	44.9	43.3	48.3	44.9	24.3	38.3	36.1
18	43.3	48.7	46.5	43.3	48.7	46.5	41.3	44.7	43.1

4. 考察及び結論

4.1 シュミット・ハンマー反発硬度R

表-3によれば、概して施工年度の新しいもののほどRの値は大きいといえる。いま、現時点で最も新しい平成6年度施工の水路コンクリートのRと各年度施工の水路コンクリートのRとの比、すなわち、反発硬度比 R/R_{1994} を水路施工後の経過年数に対して示したものが図-4である。図によれば、反発硬度比は経過年数とともに漸減し、最低で $R/R_{1994}=0.6$ となっている。このことから、水路コンクリートの少なくとも表層部では、施工後は経年的に強度劣化を引き起こし、しかも劣化の度合いは施工直後の約60%にまで落ちることが伺われる。

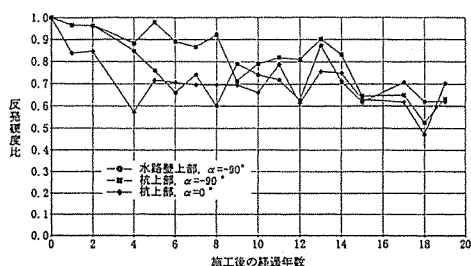
4.2 コンクリート表層部におけるpH値と反発硬度Rとの関係

図-5は、表-3の $\alpha=90^\circ$ の場合の反発硬度Rの平均値を表-4のpHの平均値に対して示したものである。図によれば、pH値

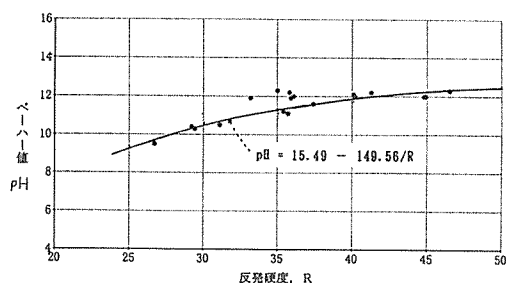
表-4 コンクリート表層部碎片のpH値

水路工 番号	pH			
	1	2	3	平均値
1	10.5	10.4	10.2	10.4
2	9.5	9.4	9.5	9.5
3	10.2	10.7	10.6	10.5
4	10.2	10.2	10.4	10.3
5	12.2	12.2	11.4	11.9
6	12.2	12.3	12.2	12.2
7	11.9	11.9	11.9	11.9
8	12.2	12.3	12.2	12.2
9	11.5	10.7	11.0	11.1
10	12.3	12.3	12.3	12.3
11	11.0	11.3	11.3	11.2
12	11.5	11.7	11.7	11.6
13	11.9	11.9	12.1	12.0
14	12.0	12.1	12.2	12.1
15	12.0	12.1	12.0	12.0
16	11.7	12.1	12.1	12.0
17	11.9	12.1	12.0	12.0
18	12.3	12.3	12.3	12.3

注) コンクリート砕型10gと水25mlの溶液を作成後1時間静置して測定、ただし、水のpH=7.5、水温18°C



図－4 反発硬度比 R/R_{1994} の経年変化



図－5 コンクリート表層部における反発硬度 R と pH との関係

と R との関係は、 $R \geq 35$ では pH 値はほぼ一定値をとるが、 $R < 35$ では pH 値は R の減少とともに大きく減少することがわかる。すなわち、コンクリートの強度劣化は pH 値の減少となって表れることが明らかである。

図には、(1)式で与えられる R と pH との間の関係式を示している。

$$pH = 15.49 - 149.56/R \quad (1)$$

(1)式を変換すると、

$$R = 149.56/(15.49 - pH) \quad (2)$$

(2)式により、コンクリート表面での pH 値が分かれば、コンクリートの劣化の程度を概略推定出来るといえる。

5. おわりに

以上の研究より、水路コンクリートは施工後年月を経ると強度劣化することが定性的に明らかとなった。また、劣化状況は、反発硬度 R やコンクリート表面より採取した碎片の pH 値からも容易に確認できることも明らかとなった。今後は強度劣化の定量

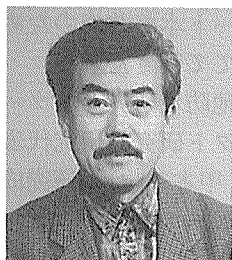
的把握法の確立につとめ、これらの成果を現地におけるコンクリート水路改修のための資料作成などに役立てて行きたい。

なお、本研究は低平地防災研究センターの平成7年度プロジェクト研究（研究代表者佐賀大学農学部教授 甲本達也）の研究成果の一部であり、文部省科学研究費（総合研究（A）研究代表者大阪府立大学農学部教授 桑原孝雄）の補助を受けた。また、佐賀大学農学部の瀬口昌洋教授にはコンクリート碎片の pH 測定に際しアドバイスを頂いた。さらに、当時本学部生産地盤工学研究室の専攻生であった大久保千津奈君（現在、KBC映像）には現地調査に協力を頂いた。付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 岸谷孝一，他編：中性化，技報堂，p. 1 (1990)
- 2) 高林利秋：こわさずにコンクリートを試験する方法，理工図書，pp.29-32 (1973)

■ 著者略歴



甲本 達也

(こうもと たつや)

1967年 九州大学農学部卒
1972年 九州大学大学院
農学研究科博士課程
単位取得退学
1992年 佐賀大学農学部教授
農学博士



豊増 紀彦

(とよます のりひこ)

1982年 佐賀大学農学部卒
1984年 佐賀大学大学院
農学研究科修士課程修了
1994年 佐賀県武雄農林事務所
主査



佐口 政人

(さぐち まさと)

1975年 日本大学農獣医学部卒
1980年 榑馬渡商会
1981年 佐賀大学農学部研究生
1983年 榑馬渡商会
製造部工場長